

出國報告（開會）

參加第四屆全球土壤安全國際研討 會交流報告書

服務機關：行政院農業委員會氣候變遷調適及淨零排放專案辦公室、

行政院農業委員會花蓮區農業改良場

姓名職稱：林昭吟視察、張琇妍助理研究員

派赴國家：韓國

出國期間：民國 112 年 6 月 25 日至 6 月 30 日

報告日期：民國 112 年 9 月 23 日

摘要

由南韓土壤肥料學會於112年6月26日至29日首爾舉辦第四屆全球土壤安全研討會(4th Global Soil Security Conference)，研討會共分為「土壤安全與氣候變遷」等八大主題，土壤安全須整合各種土壤功能包含土壤健康、生態系統服務、因應氣候變化和人類健康，並且以土壤安全作為永續管理土壤的核心法則。研討會討論包含氣候變遷下的土壤安全、糧食安全、溫室氣體排放情形、溫室氣體減量措施、土壤碳匯及土壤生態多樣性等議題，預期透過此研討會蒐集國際溫室氣體減量、增加土壤碳匯之方法，及氣候變遷下的調適策略等資訊，供國內政策及研究參考。在土壤增匯部分，可利用大數據、模型及製圖(mapping)技術分析及預測土壤有機碳變化，評估生物炭應用於稻米、結球白菜及甜椒的碳匯效益，有機水田管理增加碳匯及抑制甲烷產生的作法、蚓糞的碳匯效益等。溫室氣體減排部分，利用資材如矽酸鹽肥料、緩效性肥料、硫酸銨肥料、木醋液等，及透過不同管理如水稻田保育式耕犁、不除草、與水生生物共作以降低溫室氣體排放。因應氣候變遷調適部分，利用模型、製圖技術、水分管理排程等來調適乾旱逆境，以及探討有機水稻栽培調適全球暖化的效益。同時於此研討會「土壤安全與氣候變遷」主題項下由行政院農業委員會花蓮區農業改良場張琇妍助理研究員發表「臺灣宜蘭地區之綠肥減碳效益」(Effect of green manure for reducing carbon emissions in Taiwan Yilan area)論文摘要，並與國際上各減量及量測方法之專家學者進行意見交流，預期透過此研討會交流及蒐集國際溫室氣體減量、土壤碳匯及氣候變遷下調適策略等資訊，供國內政策及研究參考。

目次

一、目的	3
二、過程	4
三、內容	8
四、心得與建議	16
五、壁報論文發表內容	19
六、照片附錄	21

一、目的

近年來聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)於公布之各項氣候變遷相關報告指出，人類對地球暖化的影響無庸置疑，地球大氣、海洋、冰雪圈與生物圈已在發生廣泛且快速的變遷，其程度與各地區的極端天災是過去數千年來前所未見。我國屬海島國家，不僅海平面上升速度是全球平均的 2 倍，1991-2020 年間，我國全年平均溫度已上升 1.6°C，且有增溫加速趨勢，降雨型態也發生改變，最大日暴雨強度及年最大連續不降雨日數增加趨勢明顯，皆對我國農業造成極大挑戰。爰此，近年國際上有關氣候變遷與淨零排放等議題之討論程度熱烈，我國也於 2022 年 3 月 30 日由行政院國家發展委員會正式對外宣布臺灣 2050 淨零排放路徑與 12 項關鍵戰略，包含風電/光電、氫能、前瞻能源、電力系統與儲能、節能、碳捕捉、利用及封存、運具電動化及無碳化、資源循環零廢棄、自然碳匯、淨零綠生活、綠色金融、公正轉型。面對國家整體淨零排放目標，各部門無不積極響應，而我國行政院農業委員會(下稱農委會，2023 年 8 月 1 日改制為農業部)於 2022 年 2 月 9 日對外宣布農業部門推動淨零排放之具體作為，包含四大主軸、19 項策略與 59 項措施，並提出將提前於 2040 年達到農業淨零排放之積極目標，顯示我國農業部門對於氣候變遷與淨零排放議題之高度重視。

為進一步了解氣候變遷下的土壤安全、糧食安全、溫室氣體排放情形、溫室氣體減量措施、土壤碳匯及土壤生態多樣性等議題，爰參與本次由南韓土壤肥料學會於首爾舉辦第四屆全球土壤安全研討會(Global Soil Security: Beyond the Soil, BTS)，同時於此研討會「土壤安全與氣候變遷」主題下由行政院農業委員會花蓮區農業改良場張琇妍助理研究員就「臺灣宜蘭地區之綠肥減碳效益」(Effect of green manure for reducing carbon emissions in Taiwan Yilan area)發表論文摘要及壁報，並與國際上各減量及量測方法之專家學者進行意見交流，預期透過此研討會蒐集國際溫室氣體減量、增加土壤碳匯之方法及氣候變

遷下的土壤相關調適策略等資訊，供國內政策及研究參考。

二、研習過程

(一) 研討會日程

研討會訂於 112 年 6 月 26 日至 6 月 29 日，並訂有八大主題，土壤安全面向：5C、土壤安全與氣候變遷、土壤安全與人類健康、土壤安全與水安全、土壤安全與糧食安全、土壤安全與生態系統服務、土壤安全與生物多樣性、土壤安全與政策。研討會總日程如下：

Time	June 26 (Mon)	June 27 (Tue)	June 28 (Wed)	June 29 (Thu)
	Grand Ballroom Vendôme A & B (4F)			
08:30 - 16:30	Registration @ Grand Ballroom Vendôme Foyer (4F)			
09:00 - 09:30	Booth set-up	Opening Ceremony	Plenary 2 (09:00-10:00)	Plenary 3 (09:00-10:00)
09:30 - 10:30		Plenary 1	Session 4 (10:00-10:50)	Session 7 (10:00-10:50)
10:30 - 11:00		Poster Session 1 (with Coffee Break)	Poster Session 2 (with Coffee Break) (10:50-11:20)	Poster Session 3 (with Coffee Break) (10:50-11:20)
11:00 - 12:25		Session 1	Session 5 (11:20-12:40)	Session 8 (11:20-12:40)
12:25 - 13:30		Lunch	Lunch (12:40-14:00)	Lunch (12:40-13:40)
13:30 - 14:45		Session 2	Session 6 (14:00-15:40)	Session 9 (13:40-15:10)
14:45 - 15:15	Registration (14:00-19:00) @ Grand Ballroom Vendôme Foyer (4F)	Poster Session 1 (with Coffee Break)	Poster Session 2 (with Coffee Break) (15:40-16:10)	Poster Session 3 (with Coffee Break) (15:10-15:40)
15:15 - 17:45		Session 3	Special Session (16:10-16:50)	Session 10 (15:45-17:05) Closing Ceremony (17:05-17:30)
19:00 - 21:00	Welcome Reception (17:30-19:00) Grand Ballroom Vendôme A (4F)	-	Gala Dinner	

(二) 112 年 6 月 27 日研討會演講主題與內容

Plenary 1	
Soil Security Dimensions (5C) and Policy	Public Policy and Soil Security
	Integrating the Five Dimensions of Soil Security for a Scalable Soil Health Assessment Strategy
	Soil Security: Linking Soil Health to Planetary Health
Session 1	
Soil Security Dimensions (5C)	A Soil Security Assessment: the Capacity and Condition of Nutrient Cycling in the Hunter Valley, NSW, Australia
	Mapping Soil Condition (Phenofoms): What is Possible and How Can It be Done?
	Connectivity – Securing Soil through Care
	Monitoring Programs for Evaluating the Health Status of Agricultural Soils – Case of Poland
	Monitoring for Soil Security Using Mid-infrared Spectroscopy
	Soil Security Spatial Modeling for Sustainable Cacao Plantation Evaluation
	Characterizing Diagnostic Horizons of Podzolic Soils in Taiwan Using pXRF and Vis-NIR
Session 2	
Soil Security Dimensions (5C) II	Identifying and Mapping Genosols and Phenosols for the Evaluation of Soil Capacity and Condition Continentally
	Development of Soil Security Evaluation Model and Web-GIS System
	Evaluation of Remotely Sensed Imagery to Monitor Temporal Changes in Soil
	Estimating Soil Organic Carbon Content and Their Chemical Composition with Visible–near-infrared (VIS–nearIR)
	Spectroscopy for Assessing the Soil Economic Value
	Characterization of Elemental Composition in Ophiolitic Soils of Eastern Taiwan
	Pedochemical Behaviors of Rare Earth Elements in the Soil Profiles along a Climosequence in Central Taiwan
	The Application of Rare Earth Elements as Pedogenic Tracers
Session 3	
Soil Security and Climate Change	Securing Soil through Carbon Sequestration; Much more than a Climate Solution
	Organic Rice Farming to Improve Soil Security and Carbon Sequestration
	Our Knowledge on the Magnitude and Fate of Global Soil Organic Carbon
	Carbon Neutral Staple Food Production in China through Soil and Crop Residue Management
	Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation of Agriculture in a Mountain region of Central Nepal
	Methane Emissions from Takanari and Koshihikari were Reduced by No Weeding in Organic Farming
	Carbon Decomposition, Nitrogen Mineralization, and Greenhouse Gas Emitted during Rice Straw and Azolla Green Manure Vermicomposting
	Impact of Climate Change on Soil Degradation from Erosion at the Forest-steppe Zone of the European Part of Russia
	Effects of Long-term Soil Warming on SOC Decomposition and N Mineralization in a Japanese Rice Paddy Field
	Warming Reduces CH ₄ Emissions from Organic Farming Rice Paddy
	A New Value of Silicate Fertilizer as a Soil Amendment to Mitigate Greenhouse Gas Emission Impact and Improve
	Effect of Biochar Utilization on Net Global Warming Potential in a Whole Rice Cropping Boundary
	Biochar Induced Changes in Methane Emission and Rice Yield: A Data Synthesis

(三) 112 年 6 月 28 日演講主題與內容

Plenary 2	
Soil Security and Food Security	Peak Soil Jeopardises Global Food Security, Climate Emergency and Peace
	Human Nutritional Aspects of Soil Security: Hidden Hunger
	Organic Matter Management in Rice Paddy: Grand Challenges and Golden Opportunities under Global Warming
Session 4	
Soil Security and Ecosystem Services I	Ecosystem Services of Soil Carbon, Carbon Farming, and Carbon Market
	Comparing Carbon and Nitrogen Stocks in Paddy and Upland Soils: Accumulation, Stabilization Mechanisms, and Environmental Drivers
	Impact of Crop Diversification on Soil Carbon and Nitrogen in Two Organic Crop Rotations
	Evaluation of Cropland Ecosystem Services for Sustainable Soil Management: Framework, Methodology and Case Study
Session 5	
Soil Security and Ecosystem Services II	Challenges in Modelling Soil Security at Global Level
	Spatial Evaluation and Quantification of Soil Multifunctionality Across Europe: Where to Start?
	Compost Cylinders in the Green Areas of the UAM Azcapotzalco
	Impact of Topsoil Mining for Unfired Mudbricks on Soil Quality in Eastern
	Quantifying the Impact of Soil Erosion on Soil Security by using Alternative
	Fallout Radiomulclides in a Mediterranean Olive Orchard Catchment
	Stabilization of Heavy Metal Contaminated Fine Soil Collected from a High-pressure Soil Washing Process Using Cuttlefish Bone
Urban Soil Remediation Using Tillage and Compost for Turfgrass Establishment: Soil Physical and Biological Properties	
Session 6	
Soil Security and Policy	Managing Nitrogen for Food Security and Environmental Protection
	Countries' Rio Convention Commitments for Measures Related to Soil Organic Carbon and Agricultural Production: Focus on Africa
	Soil Security and Governance
	Soil Security in Urban Environments - A Case Study from the Berlin Metropolitan Area
	Codification to Secure Indonesian Peatlands: From Policy to Practices as Revealed by Remote Sensing Analysis
	Soil Governance Policy and Certification Schemes
	A Comparison Study on Soil Organic Carbon Pool between Regions for Policy Implications
	An Approach for Grower Outreach Programs for Adoption of Climate-smart Soil Health Production Practices in Cotton
Special Session	
EcoSSoil (Ecosystem Services of Surface Soil Environment)	Assessment of Rainfall Erosivity in Mongolia
	Assessment of Soil Ecosystem Services Based on the Soil Function and Properties
	Development and Application of Monthly Soil Estimation Approach: A Case Study in South Korea
	Estimation of Future Soil Carbon Storage According to Climate Change

(四) 112 年 6 月 29 日演講主題與內容

Plenary 3	
Soil Security and Ecosystem Services	Soil Security: Unlocking the Full Potential of Soil-land-water Nexus Research
	Preserving the Soil Microbiome for the Circular Bioeconomy and Human Health
	Restoration to Improve Soil Security and Ecosystem Services
Session 7	
Soil Security and Food Security I	Soil, Essential for Food Production, is Under Pressure from both the Nitrogen Issue and Food Security
	Relations between Soil, its Management, Food Security and Human Health
	Integrated Rice based Shrimp and Crabs Farming: Adaptation to Climate Change and Potential Mitigation of Global Warming in the Coastal Wetlands of Bangladesh
	Real-Time Measurement of Soil Health & Adding Context to Soil Carbon Data
Session 8	
Soil Security and Food Security II	Can Biochar Promote Soil Security for Healthy Foods?
	Expanding Climate-Smart Markets through Partnerships for Climate-Smart Commodities in the U.S.
	Modeling the Growth and N Concentration of Iceberg Lettuce in Central Taiwan
	Fertilizer Recommendation System for Sustainable Agricultural Production in Korea
	Effects of Soil Amendment and Alternative Soil Fallow Systems on Soil Physical Properties and Rice Yield in Saline-affected Soils
	Nutrient Balance and Use Efficiency for Soil Health and/or Sustainability in Japan
	Effect of Pyroligneous Acid on Nitrification and Lettuce (<i>Lactuca Sativa</i> L.) Growth in Urea-fertilized Soil
Session 9	
Soil Security and Biodiversity	Soil Organisms as Drivers of Soil Security
	Delineation of Hyporheic Zone Depth and Using Probabilistic Approach
	Enzyme Activity under Different Tillage Techniques and N Fertilizer Management
	Effects of Landuse Systems on Soil Macrofauna, Soil Health and Soil Security in Ultisols of Akwa Ibom State, Nigeria
	Effects of Land Use on Floristic Composition and Diversity of Woody Vegetation in the Commune of Enampore, Senegal
	Potential Stress of Polyethylene Terephthalate Microplastics on the Plant-soil-microbiome System in Pot Experiments
	Effects of Biogas Slurry Application on Soil Quality
	Improved Ginseng Production under Continuous Cropping through Soil Health Reinforcement and Rhizosphere Microbial Manipulation with Biochar: A Field Study of <i>Panax Ginseng</i> from Northeast China
Session 10	
Soil Security and Water and Environmental Security	Biopores and Hyporheic Zones as 'Hot Spots' for Microbial Pollutant Degradation
	An Agricultural Producer's Perspectives on Soil Security: Bridging the Gaps between Research and Implementation
	Quantification of the Soil Function Water Purification and Regulation – Current State and Potential
	Soil Moisture Sensor Combined with Straw Mulching Improves Water Use Efficiency and Yield of an Upland Crop under Conditions of Drought and Saline Water Intrusion in the Vietnamese Mekong Delta
	Improved Crop Production under Conditions of Drought and Seawater Intrusion by Integrated Rice-upland Crops Rotation and Soil Management
	Land Use, Erosion, and Hydroecology of Waters in a Karst Area: A Case Study on Samcheok, South Korea
	Analyzing the Combined Impact of Climate Change and Soil Erosion on Drought Occurrence

三、研習內容

研討會研習內容共分為 8 大主題、共 85 場口頭演講、121 篇壁報論文發表，以下將截錄與淨零碳排及氣候變遷調適相關口頭演講及壁報論文內容，並分為「溫室氣體減量」、「土壤碳匯」及「氣候變遷調適」三大部分歸納整理，以提供國內淨零碳排及調適相關研究規劃及政策參考。

(一) 溫室氣體減量

1. 利用肥料或資材降低溫室氣體排放：

多篇研究利用肥料或資材如矽酸鹽肥料、緩效性肥料、硫酸銨肥料、木醋液等以減少溫室氣體排放。

高爐石 (blast-furnace (BF) slag) 製成的矽酸鹽肥料常被作為水稻田的土壤改良劑，且因矽酸鹽肥料可作為電子接受者 (electron acceptors) 之角色，在水田栽培水稻時可降低甲烷排放，然而矽酸鹽肥料對於土壤碳匯及氧化亞氮排放情形仍不清楚。Galgo 等人研究指出，高爐石製成之矽酸鹽肥料與對照組相比，可減少 20% 甲烷排放、29% 氧化亞氮排放；高爐石添加 5% 鐵鏽製成之改良矽酸鹽肥料與對照組相比，可減少 30% 甲烷排放、47% 氧化亞氮排放；而不同於施用石灰會降低土壤碳儲量，使用矽酸鹽肥料可增加 0.90-1.18 Mg C/ha/yr 的土壤碳儲量；並且施用上述兩種矽酸鹽肥料分別可增加 9% 及 13% 的產量。

過量的氮肥會藉由淋洗作用流失並造成溫室氣體如氧化亞氮排放，因此 Seok 等人透過木醋液 (pyroligneous acid) 作為尿素抑制劑，評估萵苣生長過程中木醋液對尿素在土壤釋出無機態氮之影響。與市售之尿素抑制劑相比，木醋液有效抑制尿素活性並延遲硝化作用；在盆栽試驗中，施用 50% 尿素搭配使用木醋液或尿素抑制劑與

只施用 100% 尿素之處理相比，植物有效性銨無顯著差異；而使用木醋液之處理與只施用尿素相比乾重高於 50%。顯示使用木醋液可藉由抑制尿素活性提高氮素利用率。

透過水分管理可以減少甲烷排放，而透過緩效性氮肥可以減少氧化亞氮排放，然而水分管理及緩效性肥料複合操作之效益尚不明瞭。Jang 等人研究指出，延長曬田時間（排水 20 天）與對照組相比（排水 10 天），可減少 3.1% 甲烷及 8.1% 氧化亞氮排放；延長曬田時間（排水 20 天）並施用緩效性氮肥與對照組（排水 10 天）相比可減少 12.3% 甲烷及 16.2% 氧化亞氮排放，並提高 1.9% 水稻產量。以上結果顯示，使用緩效性肥料並延長曬田期可有效提高水稻產量並降低溫室氣體排放。

An 等人探討尿素及硫酸銨作為氮肥施用對於氮揮失及氧化亞氮排放之影響。研究成果顯示，施用硫酸銨處理與尿素處理相比有較少的氮揮失及氧化亞氮排放，而施用尿素處理與硫酸銨處理相比有較高的產量；然而施用硫酸銨處理每單位產量的氮損失量，較尿素處理低，而與不施氮肥處理則無顯著差異，指出使用硫酸銨肥料可作為減少氮損失之策略之一。

Lee 等人研究指出，在玉米及結球白菜輪作中透過化肥及堆肥複合施用與單純施用化肥處理相比，可降低 27% 氮損失（包含氮揮失及氧化亞氮排放）並且產量上無顯著差異，降低原因可能為使用堆肥可以增加土壤陽離子交換容量，而增加作物氮吸收率。此外，化肥與堆肥複合使用可提升土壤品質包含土壤有機質、有效性磷、陽離子交換容量等。

2. 透過不同管理降低溫室氣體排放：

有機水田中雜草管理對溫室氣體排放情形尚未明瞭，Dukuzumuremyi 等人指出，不除草處理可於生殖生長期顯著降低甲烷排放，而整個稻作期皆未偵測到氧化亞氮排放。

Ali 等人透過水稻與水生動物綜合養殖以提升孟加拉國沿海濕地適應氣候變化和減緩全球變暖的潛力。研究成果顯示，蝦與水稻共作、螃蟹與水稻共作與單純栽培水稻相比，可顯著減少溫室氣體排放。

Jin 等人指出，最低限度耕犁（僅耕犁作物種植區域）透過改善土壤物理性質，與傳統耕犁相比可以減少水稻栽培直接性（田間）溫室氣體排放 0.4 Mg CO₂-eq/ha；最低限度耕犁透過降低農機具燃料投入，與傳統耕犁相比可以減少溫室氣體排放 2.8 Mg CO₂-eq/ha。

3. 其他：

Rutikanga 等人探討以稻稈堆肥、稻稈與滿江紅複合堆肥對於碳分解、氮礦化作用及溫室氣體排放之影響。結果顯示，在堆置 4 周後稻稈與滿江紅複合堆肥相較於稻稈堆肥，總碳量顯著降低、二氧化碳排放量降低，但在堆置第 70 及 84 天出現甲烷峰值；而稻稈與滿江紅複合堆肥提高起始及堆置過程中的總氮量，兩處理堆置過程中皆無偵測到氧化亞氮排放。以上結果顯示，稻稈與滿江紅複合堆肥可以提高碳分解及氮的礦化速率，但會造成甲烷排放，而排放機制仍待釐清。

Back 等人探討在升溫情境下（增加 3°C），化肥及有機質肥料施用於水田對甲烷排放量之影響。研究結果顯示，在環境溫度下（未升溫）施用有機質肥料之甲烷排放通量為施用化學肥料的 4 倍；然而在升溫情境下施用有機質肥料與環境溫度下施用相比，減少 49% 甲烷排放

通量，在升溫情境下施用化學肥料與環境溫度下施用相比，提高 115% 甲烷排放通量，而在升溫情境下施用有機質肥料及化學肥料之甲烷排放通量無顯著差異。在二氧化碳通量部分，無論在環境溫度及升溫條件下，施用有機質肥料之二氧化碳通量皆較施用化學肥料高，因此推測升溫情境下，在曬田期間施用有機質肥料可增加異營微生物作用，將有機物質分解成二氧化碳而漸少湛水期間的甲烷排放。以上結果指出，在未來升溫情形下，於水稻田施用有機質肥料與化學肥料相比不會提高甲烷排放。

針對生物炭應用於水稻栽培的減排及碳匯效益，Park 等人盤點整個水稻栽培邊界之碳排放量，包含生產生物炭裂解過程、運送、田間溫室氣體排放及增匯，並且與化學肥料及作物殘體施用作比較，並使用 net global warming potential (GWP) 計算，net GWP 為結合溫室氣體通量（包含甲烷及氧化亞氮）及碳儲量變化之計算方法。而此篇研究之生物炭由作物殘體經 400°C 裂解 4 小時而成，在水稻栽培邊界中，碳儲量變化以 net ecosystem carbon budget (NCEB) 進行分析，溫室氣體則以密閉罩法進行量測。研究成果顯示，施用新鮮的作物殘體與化學肥料相比增加 69% net GWP，主要由於在湛水時期增加甲烷排放；相反的，施用生物炭與化學肥料相比增加 78% net GWP，而在燒製生物炭過程中使用合成氣體循環系統可減少大部分溫室氣體排放，田間排放部份，施用生物炭有較少甲烷排放及增加碳儲量，故顯著降低 net GWP。

(二) 土壤碳匯

1. 土壤有機碳非破壞性分析及模型預測：

非破壞性分析有機碳為一種快速、成本低、可定量且生態友善的測量方法，此研討會中有數篇研究分享非破壞性分析土壤有機碳之方法，節錄如下。Huang 等人研究使用可攜式 X 射線螢光分析儀（portable X-ray fluorescence spectrometry, pXRF）和可見光—近紅外光譜儀（visible and near-infrared spectroscopy, Vis-NIR）去定義土壤化育過程之土壤特性，並依分群演算法（clustering algorithms）分類土壤化育層。利用主成分分析萃取變方（variances），利用 K-means 集群分析（k-means clustering）分離不同化育層之樣本，再利用多元線性迴歸模型（Multilinear regression models）預測非結晶性的鐵鋁氧化物定量淋澱層之物質。pXRF 及 Vis-NIR 萃取出主成分可歸於土壤成分包含有機-金屬化合物及黏粒，且結合 pXRF 及 Vis-NIR 透過 K-means 集群分析可有最佳分離不同化育層樣本之結果，再透過主成分可建立多元線性迴歸模型（Multilinear regression models）預測非結晶性的鐵鋁氧化物定量淋澱層之物質。Aleksandra 等人透過實驗室分析與可見光—近紅外光譜儀（visible and near-infrared spectroscopy, Vis-NIR）測量，並搭配 Partial Least Square Regression（PLS）及 Support Vector Machine（SVM）定義化學分析數據及光譜數據之相關性。結果顯示，結合光譜量測及 PLS 可有效預測土壤有機碳及黑碳，以評估土壤碳型態的有效性與穩定性。

Mishra 等人利用大量的全球土壤剖面觀測、環境數據集和各種建模方法，以量化全球和區域土壤有機碳預測和不確定性計算，及預測未來暖化情境下的土壤有機碳變化，並研究「Coupled Model Intercomparison Project phase six Earth System」模型如何預測全球 SOC 儲量的

未來變化。並指出，需要全球協作土壤有機碳剖面觀測、跨土壤深度和環境梯度進行暖化實驗，以及在地球系統模型中須呈現土壤形成過程以減少不確定性。Choo 等人則根據土壤的物理和化學性質來量化韓國土壤碳儲存量，並使用 APEX(Agricultural Policy/Environmental eXtender) 模型作為定量方法。Hur 等人利用 IPCC 公布的 Soil carbon stock change factor (SCSCFs) 搭配大數據及模型預測韓國土壤有機碳儲量變化。Jang 等人則透過調查 Geonosoil 及 Phenosoil 的土壤性質、氣候參數、植被情形、地形、母岩及時間，並透過模型預測土壤有機碳含量，而以 Geonosoil 作為土壤原生情境、Phenosoil 作為目前情境，計算土壤有機碳變化。

2. 生物炭之碳匯效益：

Yoon 等人評估在甜椒栽培中添加不同含量之木質生物炭對土壤碳平衡及作物產量之影響。碳平衡為碳投入扣除碳支出計算而得，碳投入為添加之生物炭提供之碳含量，碳支出為釋出的二氧化碳及甲烷之碳含量。結果顯示添加 2.5 Mg/ha 木質生物炭可增加 2 Mg/ha 的碳儲量，且碳儲量隨施用量增加而提高，施用木質生物炭也可有效提高甜椒產量，並且改善土壤化學性質包含酸鹼度、總碳、有效性磷酐、銨態氮。

Park 等人評估在白菜栽培中添加不同含量之稻殼生物炭對溫室氣體排放、NECB (net ecosystem carbon balance) 及產量之影響。指出添加 1、3、5 噸/公頃的稻殼生物炭與對照組相比分別可減少 2.9%、25.4%、41.1% 的氧化亞氮排放；而對照組、添加 1、3、5 噸/公頃的稻殼生物炭處理的 NECB 分別為-0.42、0.23、1.26、1.95 噸 C/公頃/年。顯示稻殼生物炭施用可調節溫室氣體排放、

增加土壤碳匯且不影響產量。

3. 水田土壤碳匯管理：

為瞭解長期有機水稻栽培對土壤碳含量及氮素肥效之影響，Cheng 等人透過調查慣行栽培、有機栽培 4~5 年、有機栽培 8~9 年、有機栽培 12 年灰燼土綱的表土（0~15 公分）及底土（15~20 公分）之土壤有機質和總氮量，並且在 30°C 及厭氧條件下孵育 2、4、6、8 周，測量碳分解（二氧化碳或甲烷生成）及氮礦化作用。結果顯示與對照組相比，有機栽培 12 年之表土土壤有機質及總氮增加 13.8%及 15.6%，有機栽培 8~9 年之表土土壤碳分解及氮礦化作用增加 23.9%及 24.7%；然而在底土慣行栽培與有機栽培並無顯著差異。以上研究成果指出，在日本灰燼土綱長期有機栽培可增加土壤碳蓄存及提高氮素肥效。

水稻栽培系統的浸水特性具有高土壤碳蓄存之潛力，然而浸水條件也造成大量甲烷排放，再者有機資材添加會提高 2~5 倍的甲烷排放，因此有機水稻田管理，須同時考慮碳蓄存及溫室氣體排放以找出最適管理作法。Kim 研究指出，在水稻栽培中綠肥及稻稈施用可輕微增加土壤有機碳，但會造成大量甲烷排放而顯著增加 net GWP，然而生物炭具有最小的 net GWP，因其具有最佳的增匯效果及較少溫室氣體排放。透過有機資材好氧堆置處理再施用及水田水分管理皆可減少溫室氣體排放，此外可作為電子接受者之矽酸鹽肥料及氧化鐵，也可降低 net GWP。因此綜合有機資材添加管理、水分管理、肥料施用可調節水稻田溫室氣體排放及增加碳蓄存。

4. 其他增加土壤碳匯之措施：

土壤生化循環和生態系統服務受到土壤生物影響深

巨，而土壤生態系統工程師（如蚯蚓）參與土壤孔隙形成，改變土壤物理構造進而影響土壤水和氣體流動、儲存以及土壤有機質動態。Rumpel 指出，蚓糞可促進土壤團粒形成，減少顆粒有機質（particulate organic matter, POM）、增加礦物複合有機質（mineral-associated organic matter, MAOM），保護有機質不受分解而增加土壤碳匯。但蚓糞生產過程亦會造成溫室氣體排放。

Estrada 等人研究指出，在酸性土壤添加石灰及爐渣（blast-furnace (BF) slag）皆可有效提高土壤酸鹼度，然而添加石灰會增加土壤呼吸作用使土壤有機質分解，添加爐渣則顯示土壤呼吸作用降低、甲烷排放降低、礦物複合有機質（mineral-associated organic matter, MAOM）增加、顆粒有機質（particulate organic matter, POM）及可溶性有機碳減少，指出添加爐渣可使土壤有機質與金屬複合形成 MAOM，可減少土壤有機質分解，增加土壤碳匯。

（三）氣候變遷調適

1. 利用模型預測調適：

Oh 等人透過建立 Soil-Water-Food-Energy NEXUS 平台來預測農業乾旱情境，以提供決策方法。藉由輸入乾旱情境及環境條件，再透過生理模型及經濟模型預測乾旱逆境，進而提出解決辦法。Choi 等人透過釜山大學 CGCM-WRF 模型預測作物蒸散量，以應對未來水依源短缺問題。Shin 等人透過建立「Irrigation Schedule & Management (ISM)」模型，調節灌溉水量、灌溉時程及水分逆境變化，提供有效地灌溉管理計畫，以在乾旱情境下維持作物生產。Syu 等人調查土壤性質包含土壤質地、陽離子交換容量、土壤有機質及總體密度，計算田

間容水量及永久凋萎點得出有效性水含量，再透過 Digital Soil Mapping 預測區域性有效性水含量，作為水資源利用參考依據。

2. 其他：

Seo 等人為瞭解有機水稻栽培在未來升溫及二氧化碳濃度提高情境下是否可作為調節全球暖化之作法，其在模擬 50 年後環境條件（升溫 2°C 及增加 100 ppm CO₂）、100 年後環境條件（升溫 2°C 及增加 200 ppm CO₂）下調查有機栽培及慣行栽培的 net GWP、土壤碳儲量變化 (Soil carbon stock change, Δ SOC) 及溫室氣體排放量。結果顯示在未來氣候條件下會提高甲烷排放及減少土壤碳儲量。與慣行栽培相比，有機栽培於現在、50 年後環境條件、100 年後環境條件分別會增加 11.6、18.1、19.9 CO₂-eq/ha 的甲烷排放，而與現況相比，有機栽培在未來 50 年及 100 年分別會減少 2.9 及 7.8 Mg CO₂-eq/ha 的碳儲量，且由於增加甲烷排放，有機栽培在未來會增加 32~55% 的 net GWP。以上結果指出，須選擇穩定型態的有機資材運用於水稻栽培，才可減少甲烷排放及增加土壤碳儲量，以調節全球暖化。

四、研習心得與建議

此次奉派參加「第四屆全球土壤安全研討會 (4th Global Soil Security Conference)」透過參加此研討會廣泛蒐集國際上土壤安全及氣候變遷相關重要的研究資訊，包含測量計算方法、減排及增匯技術措施及調適策略發展等。

在全球暖化及氣候變遷的威脅下農業操作風險日益增加，目前各國皆積極投入淨零碳排相關的研究工作，臺灣農業部門也積極發展及建立淨零碳排相關措施，預期在 2040 年提前達到淨零碳排，並透過相關科技研究計劃項下，納入「精進農業部

門溫室氣體排放量測及計算方法學」分項計畫投入溫室氣體量測之調查工作，以建立臺灣大宗作物之本土排放係數。在水稻溫室氣體量測工作中發現，不同氣候環境條件、不同土壤性質及農民栽培管理方法皆會影響溫室氣體排放。其中有機栽培被視為可以增加土壤碳匯以調節全球暖化之作法，但由於水稻的浸水條件，有機資材的添加可能會造成大量甲烷生成，而在今年的量測工作中，我們也初步發現若施用豆粕類的有機質肥料作為基肥栽培水稻，將會大幅增加甲烷排放。透過此研討會進一步針對有機水稻溫室氣體排放及增匯效益上有許多研究參考及討論，許多學者提出可藉由 net global warming potential (net GWP) 評估各方法調節全球暖化之潛力，net GWP 同時計算溫室氣體排放通量(包含甲烷及氧化亞氮)及碳儲量變化(Δ SOC)，碳儲量變化則以 net ecosystem carbon budget(NCEB)進行計算，包含投入之碳含量扣除移出之碳含量，借此綜合評估排放及增匯之效益。

另研討會中多篇研究也證實，施用易分解的有機資材會造成大量溫室氣體排放，而水分管理、緩效性肥料、矽酸鹽肥料等操作管理也會影響溫室氣體排放，因此在有機水稻栽培上如何選擇適當之有機資材使用，並搭配其他減量措施，同時兼顧產量以達到最佳的減排及增匯效果，值得國內未來研究發展參考。另外，研討會中許多減排及增匯方法等相關研究，也有助於未來針對國內農業上高排放之熱點區域，選擇合適之減量及增匯方法。

此外，於此研討會進行「Effect of green manure for reducing carbon emissions in Taiwan Yilan area (臺灣宜蘭地區之綠肥減碳效益)」壁報論文發表，分享在臺灣宜蘭地區透過滿江紅取代傳統操作的減碳效益，藉此討論交流獲取各專家學者建議。其中，與日本山形大學 Weiguo Cheng 教授討論滿江紅的應用及與

其分享實際之減碳情形，Weiguo Cheng 教授研究有關有機水稻不除草之減碳效益，而栽培滿江紅即為有機水稻中抑制雜草的有效方法之一。

藉由參與此次國際研討會與各國專家學長的技術分享與意見交流，瞭解土壤安全須整合各種土壤功能，包含土壤健康、生態系統服務、因應氣候變化和人類健康，並且以土壤安全作為永續管理土壤的核心原則發展各項政策與技術，因土壤安全與氣候變遷及人類健康密不可分，且土壤有機碳（SOC）為人類提供多種生態系統服務，惟人為各種土地利用和氣候變化可能會改變當前的土壤碳平衡，從而影響各種土壤特性和功能，未來在政策制定上，應通盤納入相關可能性。

因淨零排放屬新興議題，我國農業部門之淨零排放策略規劃快速且完善，透過於本次國際研討會與各國專家互相分享交流，有效提高國際能見度之效，未來除應加大資源投入農業淨零排放科技研發與政策誘因機制設計外，也應持續積極參與國際鏈結相關事務，包含能力建構與人才培育、參與或辦理國際研討會、雙邊/多邊交流或啟動國際合作專案等項目，以期未來我國農業部門可成為永續技術服務的提供者，並作為其他國家農業淨零排放政策規劃之楷模

五、壁報論文發表內容

(一) 發表論文摘要

Effect of green manure for reducing carbon emissions in Taiwan Yilan area

Hsiu-Yen Chang, Tzu-Cheng Chien, Gou-En Yan, Yun-Shan Tsai, Li-Feng Ni,
Shu-Yuan Chiou

Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture,
Hualien 973044, TAIWAN

Abstract

The conventional farming of the second crop in Taiwan Yilan area is to apply flooding irrigation after planting sesbania and turning it over into the soil. The conventional farming would lead to massive greenhouse gas (GHG) emissions and loss of nutrients from green manure. Many studies indicated that planting *Azolla* could reduce the GHG emission and release the least methane (CH₄) emission per unit yield compared with other green manure. As mentioned above, planting *Azolla* as green manure to reduce carbon emissions is the most effective way. Therefore, the objective of this study is to estimate the effect of *Azolla* replacing sesbania as green manure for reducing carbon emissions in the second crop in Yilan area and establish the carbon-reducing methodology. In this study, we found that carbon dioxide equivalents for CH₄ under planting *Azolla* decreased by 35 tonnes per hectare compared with that under conventional farming in the second crop. Furthermore, with the use of straw decomposition bacteria organic fertilizer under planting *Azolla*, carbon dioxide equivalents for CH₄ decreased by 43 tonnes per hectare compared with that under conventional farming in the second crop. In addition, *Azolla* has been reported to reduce plant nitrogen requirement, so we would evaluate the effect of different green manure for decreasing the fertilizer requirement and reducing GHG emission in the next crop.

Keywords: greenhouse gas, methane, *Azolla*, sesbania, emission reduction

(二) 發表論文壁報



Effect of green manure for reducing carbon emissions in Taiwan Yilan area

Hsiu-Yen Chang, Tzu-Cheng Chien, Gou-En Yan, Hao-Cyuan Huang, Yun-Shan Tsai, Li-Feng Ni, Shu-Yuan Chiou

Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Hualien 973044, TAIWAN



Introduction

The conventional farming of the second crop in Taiwan Yilan area is to apply flooding irrigation after planting sesbania and turning it over into the soil. The conventional farming would lead to massive greenhouse gas (GHG) emissions and loss of nutrients from green manure. Many studies indicated that planting Azolla could reduce the GHG emission and release the least methane (CH₄) emission per unit yield compared with other green manure. Therefore, the objective of this study is to estimate the effect of Azolla replacing sesbania as green manure for reducing carbon emissions in the second crop in Yilan area and establish the carbon-reducing methodology.

Materials and Methods

Experimental design and irrigation management

- Planting sesbania(July) → Turning sesbania over into the soil and flooding(September) →Planting rice(February)
- Land grading, flooding and planting Azolla(July) → Turning Azolla over into the soil(January) →Planting rice(February)
- Land grading and using straw decomposition bacteria organic fertilizer (July) → The same management as treatment b.

Field measurement

- ✓ Method: closed chamber method
- ✓ Chambers: both upper layer and bottom layer are 0.6m*0.4m*0.6m
- ✓ Sampling time: 9 AM to 12 PM
- ✓ The time of measurement: 0 and 20th min
- ✓ Analytical instruments: LI-7810 CH₄/CO₂/H₂O Trace Gas Analyzer
- ✓ Sampling frequency: twice a week

Results

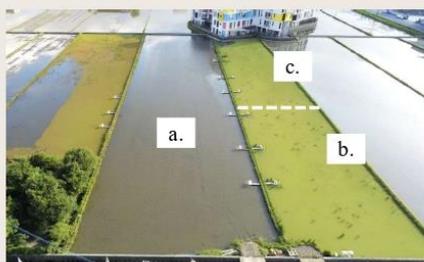


Fig. 1. The experimental field of reducing carbon emissions in Taiwan Yilan. (a. conventional farming b. carbon reduction operation 1 c. carbon reduction operation 2)

Table 1. The methane emissions and the effect of green manure for reducing carbon emissions under different treatments

	Green manure	CH ₄ emissions (kg ha ⁻¹)	CO ₂ e for CH ₄ emissions (tonnes ha ⁻¹)	Reduction of CH ₄ emissions (tonnes CO ₂ e ha ⁻¹)
a. Conventional farming	Sesbania	2072	51.8	
b. Carbon reduction operation 1	Azolla	677	16.9	34.9
c. Carbon reduction operation 2 (using straw decomposition bacteria organic fertilizer)	Azolla	359	9.0	42.8

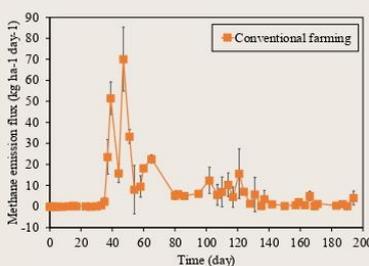


Fig. 1. The methane emission flux from paddy field under conventional farming in the second crop.

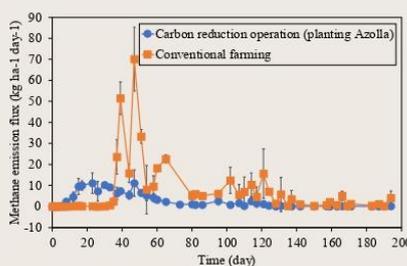


Fig. 2. The methane emission flux from paddy field under planting Azolla compared with conventional farming in the second crop.

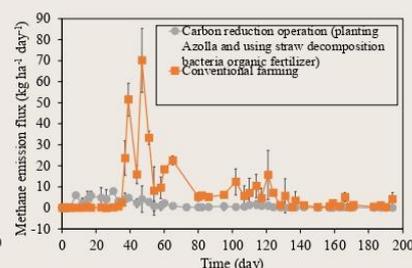


Fig. 3. The methane emission flux from paddy field under planting Azolla compared with conventional farming in the second crop.

Conclusion

In this study, we found that carbon dioxide equivalents for CH₄ under planting Azolla decreased by 35 tonnes per hectare compared with that under conventional farming in the second crop. Furthermore, with the use of straw decomposition bacteria organic fertilizer under planting Azolla, carbon dioxide equivalents for CH₄ decreased by 43 tonnes per hectare compared with that under conventional farming in the second crop.

In addition, Azolla has been reported to reduce plant nitrogen requirement, so we would evaluate the effect of different green manure for decreasing the fertilizer requirement and reducing GHG emission in the next crop.

六、照片附錄



圖 1. 共同參與研討會之臺灣研究人員與研討會主席（右二）於研討會現場合影



圖 2. 本次出差人農委會氣候變遷調適與淨零排放專案辦公室林昭吟視察與農委會花蓮區農業改良場張琇妍助理研究員合影

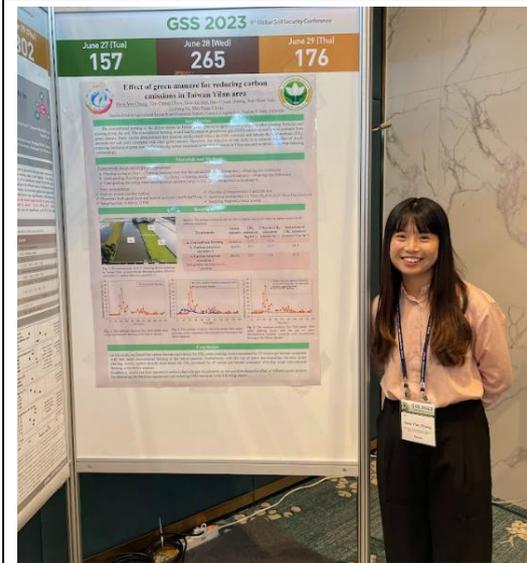


圖 3. 壁報論文發表演場

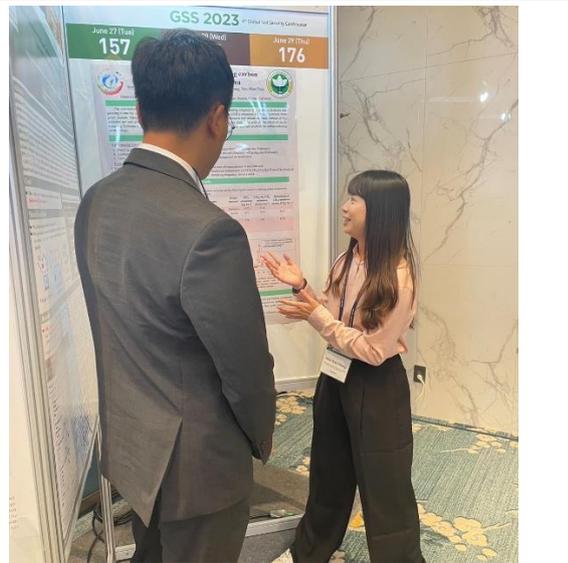


圖 4. 壁報論文分享交流

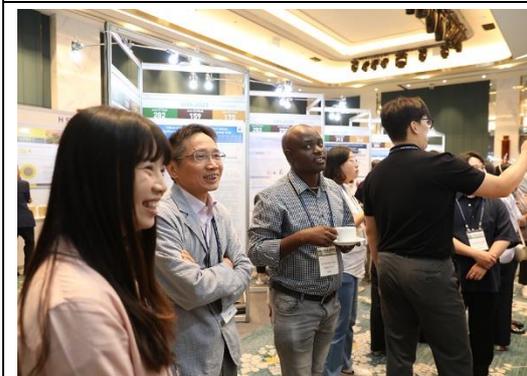


圖 5. 與日本山形大學 Weiguo Cheng 教授（左二）討論滿江紅應用於水田的減碳效果

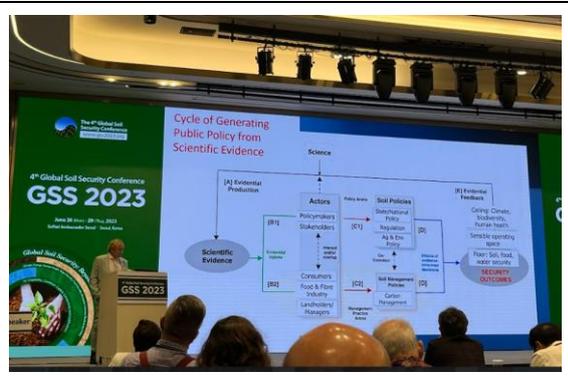


圖 6. 雪梨大學 Alex McBratney 教授分享土壤安全與政策決策

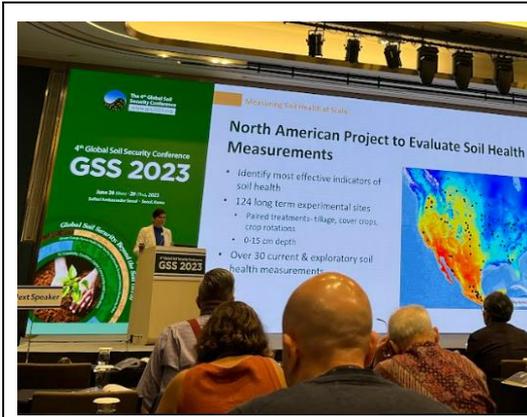


圖 7. 美國土壤健康組織 Cristine Morgan 首席科學官分享土壤健康測量計畫，包含 124 長期試驗點



圖 8. 日本山形大學 Weiguo Cheng 教授分享有機水稻栽培不除草之減排效益



圖 9. 臺灣大學許正一教授分享稀土元素與土壤安全之關係

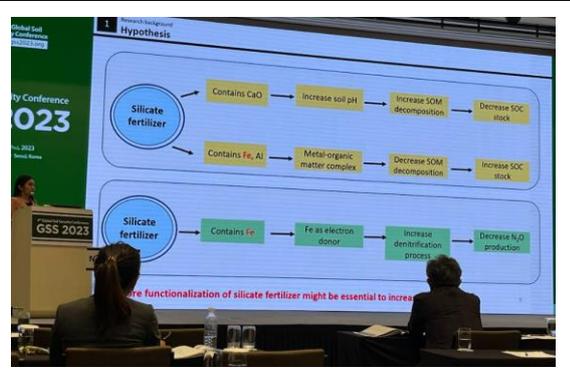


圖 10. 講者分享施用矽酸鹽肥料之減排效益



圖 11. 韓國慶尚大學 Pil Joo Kim 教授分享在全球暖化下有機水稻田的挑戰與機會



圖 12. 臺灣農業試驗所陳柱中助理研究員分享結球萵苣氮素及生長之模型研究

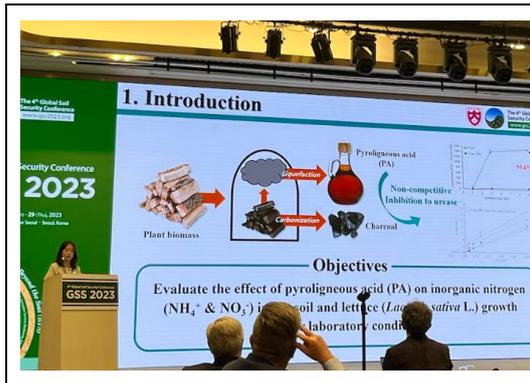


圖 13. 講者分享以木醋液作為尿素抑制劑之減碳效益



圖 14. 法國生態與科學研究組織 Cornelia Rumpel 研究總監分享土壤生物影響土壤安全及調適全球暖化